نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۹، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۸، ص ۳۷۴-۳۶۵

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 9, No. 2, Fall - Winter 2019, p. 365-374

مقایسه فرآیند خشک کردن و کیفیت تبدیل در خشک‌کن‌های گردش مجدد و رایج شلتوک

حمیدرضا گازر[1*]- علی مومنی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۵/۰۱

چکیده

مصرف بالای انرژی و غیر یکنواختی خشک شدن شلتوک در خشک‌کن‌های خوابیده رایج می‌باشد که شانس شکستگی دانه در مراحل تبدیل برنج را بالا می‌برد. به‌کارگیری خشک‌کن‌های جدید می‌تواند مشکلات ذکر شده را حل نماید. در این مقاله عملکرد یک دستگاه خشک‌کن ایستاده گردش مجدد شلتوک با یک خشک‌کن رایج برنج (خشک‌کن خوابیده) برای خشک کردن شلتوک رقم طارم مقایسه شد. در هر دو خشک‌کن شاخص‌های زمان خشک کردن شلتوک، روند تغییرات رطوبت شلتوک و انرژی ویژه مصرفی تبخیرآب شلتوک بررسی شد. همچنین تاثیر کاربرد هرکدام از خشک‌کن‌ها نیز بر روی شاخص‌های کیفی راندمان تبدیل، درصد شکستگی برنج سفید، درجه سفیدی برنج و کیفیت پخت برنج (درصد افزایش طول بعد از پخت) بررسی شد. نتایج تحقیق نشان داد که کاربرد خشک‌کن ایستاده گردش مجدد، موجب کاهش ۵۴/۱۲ درصدی زمان و مصرف انرژی در خشک کردن شلتوک شد. در خشک‌کن‌های ایستاده مقدار انرژی لازم برای تبخیر یک کیلوگرم آب از شلتوک ۳/۹MJ به‌دست آمد که ۷۶/۲۵ درصد کمتر از خشک‌کن‌های خوابیده رایج بود. کاربرد خشک‌کن‌های ایستاده نسبت به خشک‌کن‌های زمینی تاثیر معنی‌داری بر راندمان تبدیل شلتوک نداشت، امّا مقدار شکستگی برنج را ۵ درصد کاهش داد. درجه سفیدی برنج خشک شده در خشک‌کن خوابیده ۲/۴ درصد نسبت به برنج خشک شده در خشک‌کن ایستاده بیشتر بود و خشک کردن شلتوک با خشک‌کن‌های خوابیده رایج موجب افزایش ۶/۲ درصدی نسبت افزایش طول (ری کردن) برنج پس از پخت شد.

واژه‌های کلیدی: انرژی، تبدیل برنج، خشک کردن، خشک‌کن گردش مجدد، شلتوک

مقدمه

در فرآیند رایج خشک کردن شلتوک، مصرف انرژی بالا بوده و لایه‌های مختلف شلتوک در خشک‌کن‌های خوابیده رایج، یکنواخت خشک نمی‌شوند. این موضوع شانس شکستگی دانه‌های برنج در مراحل تبدیل را افزایش می‌دهد. به‌دلیل ارتفاع زیاد و انباشت محصول در خشک‌کن‌های بستر خوابیده رایج، سیستم جریان هوا در خشک‌کن‌های رایج برنج فاقد کارایی لازم برای یکنواختی خشک کردن شلتوک بوده و موجب اتلاف انرژی و بروز ضایعات تبدیل برنج می‌شود. خشک‌کن‌های ایستاده گردش مجدد یکی از سیستم‌های جدید با کارایی مناسب در زمینه خشک کردن شالی، می‌باشد که بررسی عملکرد این نوع خشک‌کن در مقایسه با خشک‌کن‌های رایج موضوع این مقاله است. رطوبت شلتوک به هنگام برداشت بین ۱۶ تا ۲۸ درصد می‌باشد. به منظور انبارمانی شلتوک و انجام عملیات تبدیل شلتوک به برنج سفید بایستی شلتوک خشک شده و رطوبت آن به کمتر از ۱۰ درصد کاهش یابد. برای خشک کردن این محصول به‌خصوص در مناطقی با رطوبت نسبی بالا از سیستم‌های خشک‌کن حرارتی استفاده می‌شود. بدین منظور جریان هوای گرم از بستر محصول عبور داده می‌شود تا سریع‌تر از رطوبت آن کاسته و به حد مورد نظر برسد (Teter, 1987). عوامل موثر در ضایعات تبدیل برنج به دو عامل دستگاهی و خصوصیات رقمی برنج تقسیم‌بندی می‌شوند. این دو عامل از یکدیگر مستقل نبوده و هریک بر دیگری تاثیرگذار می‌باشند (Bhattacharya, 1980). در تحقیق کنت، نتیجه‌گیری شد که چنانچه رطوبت سطحی شلتوک سریعاً کاهش یابد به دلیل انتقال آب از بخش‌های داخلی دانه به سطح آن، لایه‌های بیرونی چروکیده و منقبض شده و در اثر به‌کارگیری دمای بالا طی عملیات خشک کردن، انبساط ناشی از فشار درونی با رطوبت‌های مختلف باعث افزایش شکستگی در فرآیند تبدیل، به‌ویژه طی عملیات سفید کردن می‌گردد (Kent, 1982). بروکر و همکاران می‌گویند رطوبت مناسب برای انبارمانی و سفید کردن برنج در حدود ۱۴ درصد می‌باشد و برای جلوگیری از تنش‌های وارده به محصول در حین فرآیند خشک کردن بایستی فرآیند خشک کردن شلتوک به آرامی و یکنواخت در یک محیط کنترل شده (کنترل دما و سرعت خشک شدن) انجام گردد (Brooker *et al.*, 1992). در تحقیق خوش تقاضا و همکاران بر روی خشک کردن شلتوک به‌صورت بسترهای ثابت، نیمه‌سیال و سیال در دماهای ۴۰، ۶۰ و ۸۰ °C نتیجه‌گیری شد بسترهای ثابت با دماهای بالا بیشترین تاثیر را روی ترک‌خوردگی برنج می‌گذارند. در

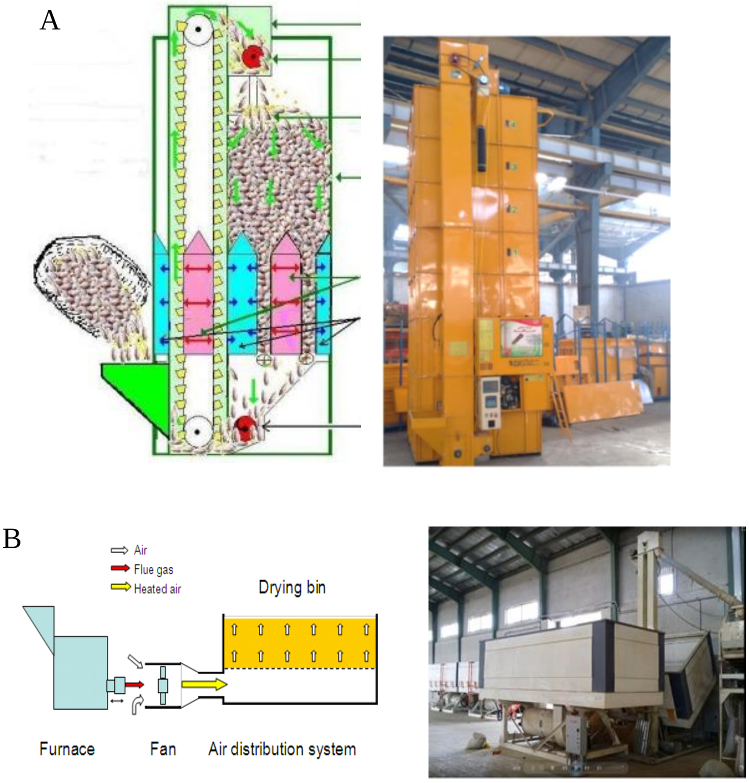
۱- دانشیار موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۲- دانشیار موسسه تحقیقات برنج کشور، معاونت مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، آمل، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: hgazor@yahoo.com)
DOI: 10.22067/jam.v9i2.72761

حالتی که بستر خشک کردن شلتوک به حالت نیمه‌سیال باشد کمترین میزان ترک‌خوردگی برنج اتفاق می‌افتد (Khoshtaghaza *et al*., 2007). در تحقیق موسوی و همکاران نتیجه‌گیری شد که استفاده از کنترل دور فن در خشک‌کن می‌تواند باعث سریع‌تر و ثابت‌تر شدن آهنگ خشک شدن محصول شده و در یک زمان ثابت رطوبت نهایی را نسبت تهویه طبیعی حدود ۸ درصد بیشتر کاهش دهد (Mousavi *et al*., 2015). سه سیستم خشک کردن برنج در سه نوع خشک‌کن مخزنی، خشک‌کن‌های جریان متقاطع و خشک‌کن‌های جریان موازی مقایسه شد و نتایج به‌دست آمده نشان داد که در هر سه خشک‌کن افزایش دما تا ۵۵°C تاثیری بر روی خصوصیات کیفی برنج نظیر میزان شکستگی، ترک‌خوردگی و رنگ ندارد ولی در خشک‌کن‌های مخزنی میزان ترک‌خوردگی با افزایش دما بیشتر از ۶۰°C به‌طور معنی‌داری نسبت به دو خشک‌کن دیگر بیشتر بود (Bakker Arkema *et al*., 1983). عملیات خشک کردن شلتوک‌های بلند دارای رطوبت‌های ۱۸ تا ۲۶ درصد انجام و تاثیرات دما، استراحت‌دهی به دانه در دماهای ۳۵ تا ۶۵°C مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج نشان داد که دمای خشک کردن در محدوده ۳۵ تا ۴۵°C دارای حداقل ترک‌خوردگی و تلفات دانه بود (Omar and Yamashita, 1987).

نتایج تحقیق سلیمانی نشان داد که تاثیرکاربرد دماهای پایین‌تر و حفظ رطوبت نهایی شلتوک بر راندمان تبدیل برنج قابل توجه بود. حداکثر راندمان برنج سالم در دمای خشک‌کن ۳۰°C و در رطوبت نهایی ۱۴ درصد حاصل گردید (Soleymani, 1998). لطیفی در تحقیق خود با استفاده از خشک‌کن آزمایشگاهی سه رقم شلتوک فجر، شفق و شیرودی را در دماهای ۴۰، ۵۰ و ۶۰°C تا سطح رطوبت نهایی ۱۰ و ۱۲ درصد بر پایه خشک و تاثیر آن را بر درصد خرد و ترک بررسی نمود. نتایج نشان داد که میزان خرد در رطوبت ۱۰ درصد نسبت به رطوبت ۱۲درصد در همه رقم‌ها کمتر بوده است. دمای بالا نیز در رقم شفق باعث خردشدگی بیشتر شد همچنین رطوبت اولیه بالاتر شلتوک حساسیت به دمای خشک کردن را افزایش می‌دهد (Latifi, 2011). نتایج تحقیق باسونیا و آبه نشان داد که اگر بعد از خشک کردن شلتوک از یک دوره ۵ روزه برای هوادهی محصول استفاده شود، تاثیر قابل ملاحظه‌ای در کیفیت برنج خواهد داشت (Basunia and Abe, 1998). در تایلند انرژی ویژه تبخیر رطوبت شلتوک در خشک‌کن‌های تک مرحله‌ای یا دو مرحله‌ای از سطح رطوبت ۱۸ درصد تا سطح رطوبت ۱۲ درصد در محدوده ۲/۸۸ تا ۴/۴۲ $MJ\ kg^{-1}$ water می‌باشد (Jittanit *et al*., 2010; Soponronnarit and Chinsakoltanakorn, 1986). همچنین برای خشک کردن شلتوک دارای رطوبت اولیه ۱۶/۶ تا ۲۱/۷ درصد بر پایه تر در خشک‌کن‌های مخزنی جریان متقاطع مزرعه‌ای، نیز مصرف انرژی ویژه تبخیر رطوبت بین ۲/۸۴ تا $MJ\ kg^{-1}$ water ۵/۳۱ تغییر می‌کرد (Billiris *et al*., 2014). رفیعی و همکاران در بررسی خشک‌کن‌های برنج به این نتیجه رسیدند که نحوه خشک کردن شلتوک بر کیفیت تبدیل و شکستگی دانه‌ها موثر است. این تاثیر در لایه‌های پایین خشک‌کن خوابیده بیشتر می‌باشد (Rafiee and Tabatabaifar, 2005). محققین تایلندی در تحقیق خود بر روی تاثیر دماهای مختلف خشک کردن شلتوک (از ۳۰ تا ۷۰°C) بر کیفیت تبدیل و عطر برنج رقم تایلندی نتیجه‌گیری کردند که خشک کردن شلتوک در دماهای بالاتر و به‌خصوص دمای ۷۰°C در مقایسه با دماهای ۳۰ تا ۵۰°C و خشک کردن در آفتاب (به‌عنوان تیمار شاهد) باعث افت پنجاه درصدی تولید برنج کامل در فرآیند تبدیل می‌شود (Wongpornchai *et al*., 2004). بررسی‌های انجام شده نشان داد که محدوده دمای مورد استفاده در خشک‌کن‌های شالی بین ۳۰ تا ۵۵°C می‌باشد که فرآیند خشک کردن به‌صورت تک یا چند مرحله‌ای در یک یا چند دما در محدوده ذکر شده بین ۴۰ تا ۷۰ ساعت انجام می‌شود. فرآیند خشک شدن شلتوک تا رسیدن رطوبت به حدود ۷ تا ۹ درصد ادامه می‌یابد و پس از آن عملیات تبدیل انجام می‌گردد (Gazor, 2014). در تحقیق کاکسیس و همکاران نتیجه‌گیری شد که استفاده از خشک‌کن‌های ایستاده جریان گردشی، میزان تهویه و جابه‌جایی رطوبت تبخیر شده دانه‌ها در خشک‌کن به‌صورت یکنواخت و همگن انجام می‌شود (Kocsis *et al*., 2011). مدل‌سازی فرآیند خشک کردن برخی از خشک‌کن‌های جریان متقاطع (Cross flow) نیز در یکنواختی خشک شدن شلتوک در تحقیقات محققان دیگر گزارش شده است (Rumsey and Rovedo, 2001; Sitompul *et al*., 2003). در این مقاله تاثیر کاربرد یک خشک‌کن ایستاده با قابلیت گردش مجدد شلتوک، بر بهینه‌سازی فرآیند خشک کردن و کاهش مصرف انرژی و شاخص‌های کیفی برنج تبدیل شده با یک خشک‌کن مرسوم شلتوک مقایسه می‌شود.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق خشک‌کن‌های بررسی شده عبارت از دو دستگاه خشک‌کن ایستاده با قابلیت گردش مجدد دانه و خشک‌کن خوابیده رایج برای خشک کردن شلتوک بود (شکل ۱). ظرفیت خشک‌کن‌های مورد آزمایش ۵ تن شلتوک تازه بود. محدوده دمای مورد استفاده در خشک‌کن ایستاده گردشی بین ۴۸ تا ۵۰°C و برای خشک‌کن خوابیده بین ۳۸ تا ۵۲°C بود. سوخت مصرفی هر دو خشک‌کن نیز گاز شهری بود. برای مقایسه عملکرد خشک‌کن‌ها از شلتوک رقم طارم با رطوبت اولیه حدود ۲۱ درصد استفاده و شلتوک‌ها تا حدود رطوبت ۸ الی ۹ درصد خشک شدند. در این مقاله رطوبت‌های اعلام شده شلتوک برحسب درصد پایه تر می‌باشد. عملیات داده‌برداری‌های در کارخانه شالی‌کوبی شهرستان فریدونکار استان مازندران انجام شد.



شکل ۱– خشک‌کن‌های شلتوک (A: خشک‌کن ایستاده گردشی، B: خشک‌کن خوابیده رایج)

Fig.1. Paddy dryers (A: Re-circulating dryer, B: conventional batch type dryers)

برای مقایسه عملکرد خشک‌کن‌های ایستاده و خوابیده برای خشک کردن شلتوک شاخص‌های زمان خشک کردن، انرژی مصرف شده برای تبخیر رطوبت شلتوک و شاخص‌های کیفی تبدیل شلتوک به شرح زیر در نظر گرفته شد. برای مقایسه زمان خشک کردن شلتوک‌ها از روند تغییرات رطوبت محصول در حین فرآیند استفاده شد. تغییرات رطوبت شلتوک با استفاده از یک دستگاه رطوبت‌سنج دیجیتالی قابل حمل ساخت تایوان با مارک SUNCUE اندازه‌گیری شد. دستگاه مذکور با روش وزنی به‌صورت ذکر شده در استاندارد ASAE 352.2 قبلاً برای شلتوک‌های ایرانی کالیبره شد (Anonymous, 2003). روش کار، نمونه‌گیری از محصول در حین فرآیند و مقایسه تغییرات رطوبت شلتوک در زمان‌های مختلف تا زمان خشک شدن (رطوبت ۸ الی ۹ درصد) بود. در هر دستگاه، روند تغییرات رطوبت در بازه‌های زمانی ۶۰ تا ۱۲۰دقیقه‌ای ثبت شده و مدت زمان رسیدن به رطوبت مناسب تبدیل مشخص گردید. مقایسه میانگین‌های زمان خشک شدن بین دو دستگاه با استفاده از آزمون T- student در سطح ۵ درصد انجام شد. به منظور مقایسه انرژی‌های مصرف شده در هر دو خشک‌کن از مجموع انرژی‌های حاصل از سوخت و برق مصرف شده برای خشک کردن شلتوک تا سطح رطوبت حدود ۸ درصد استفاده شد. به منظور اندازه‌گیری انرژی حاصل از سوخت، یک کنتور پرتابل برای اندازه‌گیری حجم گاز مصرفی برحسب (m^3) قبل از ورودی گاز به مشعل نصب و در طی فرآیند خشک کردن شلتوک مقدار گاز مصرفی اندازه‌گیری شد. سپس با توجه به ارزش حرارتی هر متر مکعب گاز، انرژی حرارتی مصرفی خشک کردن محاسبه گردید. با توجه به به‌کارگیری فن‌های مختلف در دستگاه‌های خشک‌کن، مجموع توان‌های موتورهای الکتریکی فن‌ها محاسبه و با استفاده از زمان فرآیند توان الکتریکی فرآیند برحسب کیلووات ساعت محاسبه و به مگاژول تبدیل شد. در مجموع برای خشک کردن یک محموله در هر خشک‌کن مجموع دو انرژی محاسبه و در نهایت انرژی مصرفی کل برحسب مگاژول به‌دست آمد. سپس با استفاده از روش محققین قبلی مقدار انرژی مورد نیاز برای تبخیر رطوبت یک کیلوگرم رطوبت از شلتوک نیز در هر دو نمونه خشک‌کن خوابیده و ایستاده و با استفاده از آزمون T- student در سه تکرار در سطح ۵ درصد تجزیه و تحلیل شد (Jittanit *et al.*, 2010; Soponronnarit and Chinsakoltanakorn,1986). برای این منظور ابتدا مقدار جرم آب خارج شده از شلتوک حساب شده و پس از آن براساس کل انرژی مصرف شده در فرآیند، مقدار انرژی ویژه تبخیر رطوبت شلتوک بر حسب مگاژول بر کیلوگرم آب تبخیر شده به‌دست آمد. برای محاسبه مقدار جرم آب خارج شده از شلتوک‌ها در

حین فرآیند خشک شدن از رابطه (۱) استفاده شد (Billiris *et al.*, 2014; Jittanit *et al.*, 2010).

$$m_w = \frac{m_r \times (MC_i - MC_f)}{100 - MC_f} \qquad (۱)$$

در این رابطه:

m_w= جرم رطوبت تبخیر شده (kg)، m_r = جرم شلتوک وارد شده (kg)، MC_i= متوسط رطوبت شلتوک وارد شده به خشک‌کن (%,w.b.)، MC_f= متوسط رطوبت شلتوک خارج شده از خشک‌کن (%, w.b.)

شاخص‌های کیفی بررسی شده در شلتوک‌های خشک شده نیز عبارت بودند از: راندمان تبدیل، درصد شکستگی برنج سفید، درجه سفیدی و درصد افزایش طول برنج پخته شده (ری کردن) که برای اندازه‌گیری آن‌ها از روش‌های استاندارد، تحقیقات قبلی و امکانات آزمایشگاهی معاونت موسسه تحقیقات برنج کشور در آمل استفاده شد (Anonymous, 2001; Peyman, 2003). نمونه‌های مورد آزمایش ۱۵۰ گرمی بوده و عملیات تبدیل شلتوک به برنج قهوه‌ای و برنج سفید به‌ترتیب با استفاده از دستگاه‌های آزمایشگاهی پوست‌کن مدل THU و سفیدکن مدل TMU05 شرکت ساتاکه ژاپن انجام شد (Habibi and YahyaZadeh, 2015; Khostaghaza, *et al.*, 2002). درجه سفیدی برنج نیز با استفاده از دستگاه ژاپنی سفیدسنج شرکت KETT مدل (C-100) اندازه‌گیری شد. اساس کار این دستگاه براساس تابش نور و میزان جذب و انعکاس آن توسط دانه‌های برنج سفید بود (Tajaddoditalab, 2013). آزمایشات مربوط به شاخص‌های کیفی در سه تکرار انجام و با استفاده از آزمون T-student در سطح احتمال ۵ درصد تجزیه و تحلیل شدند.

نتایج و بحث

نتایج آزمون تی و مقایسه میانگین‌های زمان خشک کردن و انرژی ویژه مصرفی در خشک‌کن‌های مورد آزمون در جداول ۱ و ۲ ارایه شده است.

جدول ۱– آزمون تی– استیودنت برای زمان و انرژی ویژه مصرفی خشک شدن شلتوک

Table 1- T- student test of time and specific energy consumption for paddy drying

پارامتر Variable	درجه آزادی df	مقدار t t-value	انحراف معیار خشک‌کن ایستاده گردشی Std. Dev. re-circulating dryer	انحراف معیار خشک‌کن رایج Std. Dev. conventional dryer
زمان خشک کردن Drying time	4	35.33**	0.58	1.15
انرژی ویژه مصرفی Sp. energy consumption	4	100.64**	0.14	0.16

** Significant difference (level 1%)   ** وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

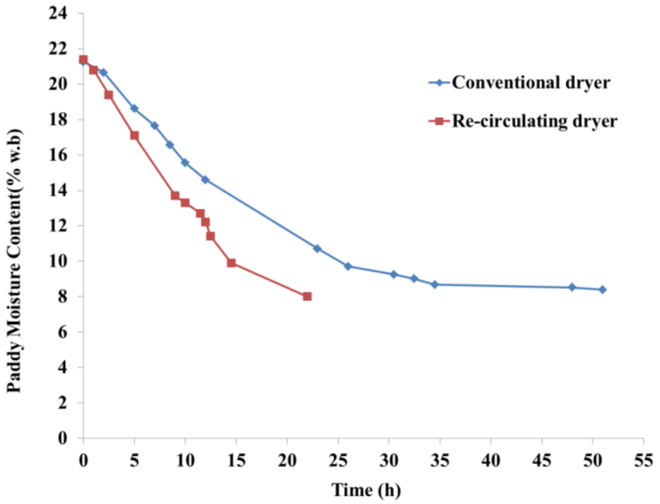
جدول ۲– مقایسه میانگین زمان و انرژی ویژه مصرفی خشک کردن شلتوک در خشک‌کن‌ها

Table 2- Comparison of means for drying time and specific energy consumption

پارامتر Variable	میانگین در خشک‌کن ایستاده گردشی Meaner-circulating dryer	میانگین در خشک‌کن رایج Mean conventional dryer	میزان اختلاف Difference
زمان خشک کردن Drying time (min)	22.33	48.67	26.34
انرژی ویژه مصرفی Sp. energy consumption (MJ kg^{-1} water)	3.90	16.42	12.52

همان‌گونه که در جدول ۱ ملاحظه می‌شود زمان و انرژی ویژه مصرفی خشک کردن شلتوک در هر دو خشک‌کن دارای اختلاف بسیار معنی‌داری با یکدیگر می‌باشد. با استفاده از نتایج جدول ۲ ملاحظه می‌شود که زمان خشک شدن شلتوک در خشک‌کن ایستاده ۵۴/۱۲ درصد کمتر از خشک‌کن رایج بوده و میزان مصرف انرژی ویژه برای تبخیر آب شلتوک هم ۷۶/۲۵ درصد در خشک‌کن ایستاده کمتر شده است. دلیل به‌وجود آمدن این موضوع تهویه مناسب و جابه‌جایی متناوب شلتوک‌ها در خشک‌کن ایستاده می‌باشد که جریان هوای گرم بین لایه‌ها بیشتر شده و زمان خشک شدن شلتوک و انرژی ویژه تبخیر یک کیلوگرم آب در فرآیند خشک کردن شلتوک به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. در تحقیقات انجام شده در مورد خشک کردن برنج در سه نوع خشک‌کن مخزنی، خشک‌کن‌های جریان متقاطع و خشک‌کن‌های جریان موازی نتیجه‌گیری شد که در خشک‌کن‌های مخزنی زمان خشک شدن و میزان ترک‌خوردگی با افزایش دما به‌طور معنی‌داری نسبت به دو خشک‌کن دیگر بیشتر می‌باشد (Billiris, 2013; Bakker Arkema *et al.*, 1983).

تحقیقات قبلی نشان داد که در تایلند انرژی ویژه تبخیر رطوبت شلتوک در خشک‌کن‌های تک‌مرحله‌ای یا دو مرحله‌ای از سطح رطوبت ۱۸ درصد تا سطح رطوبت ۱۲ درصد در محدوده ۲/۸۸ تا ۴/۴۲ MJ kg^{-1} water می‌باشد (Soponronnarit and Chinsakoltanakorn,1986; Jittanit *et al.*, 2010). همچنین برای خشک کردن شلتوک دارای رطوبت اولیه ۱۶/۶ تا ۲۱/۷ درصد تا رطوبت حدود ۱۲ درصد در خشک‌کن‌های مخزنی جریان متقاطع مزرعه‌ای، نیز مصرف انرژی ویژه تبخیر رطوبت بین ۲/۸۴ تا ۵/۳۱ MJ kg^{-1} water تغییر می‌کرد (Billiris *et al.*, 2014). داده‌های به‌دست آمده نشان داد که روند تغییرات رطوبت در خشک‌کن‌های ایستاده و خشک‌کن‌های خوابیده رایج دارای اختلاف قابل ملاحظه‌ای با یکدیگر می‌باشند (شکل ۲).



شکل ۲- روند تغییرات رطوبت شلتوک در خشک‌کن‌های ایستاده گردشی و خوابیده رایج

Fig. 2. The moisture content trends of paddy in conventional and re-circulating dryers

همان‌گونه که در شکل ملاحظه می‌شود، خشک کردن شلتوک با خشک‌کن رایج بسیار طولانی‌تر از خشک‌کن‌های ایستاده گردشی می‌باشد. در عملیات خشک کردن شلتوک با خشک‌کن‌های خوابیده رایج شلتوک‌ها حدود ۲۰ ساعت بیشتر در خشک‌کن باقی مانده که بدان نیازی نبود. زمان‌بر بودن فرآیند خشک کردن شلتوک در خشک‌کن‌های مخزنی قبلاً هم در مقایسه عملکرد سه نوع خشک‌کن مخزنی، خشک‌کن‌های جریان متقاطع و خشک‌کن‌های جریان موازی گزارش شده بود (Bakker Arkema *et al.*, 1983). در فرآیند سنتی خشک کردن شلتوک، زمان خشک شدن شلتوک تابعی از نظر و تجربه کارشناس فنی کارخانه بوده و برحسب تجربه تعیین می‌شود (Gazor, 2014).

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌های پارامترهای کیفی تبدیل برنج در جداول ۳ و ۴ ارائه شده است.

جدول ۳- آزمون تی- استیودنت برای پارامترهای تبدیل شلتوک خشک شده

Table 3- T- student test of dried paddy milling factors

پارامتر Variable	درجه آزادی df	مقدار t t-value	انحراف معیار خشک‌کن ایستاده گردشی Std. Dev. re-circulating dryer	انحراف معیار خشک‌کن رایج Std. Dev. conventional dryer
راندمان تبدیل Milling yield	4	1.60 $^{ns.}$	0.93	0.55
برنج خرده Broken rice	4	7.48**	1.06	0.59
درجه سفیدی Whitening degree	4	5.14**	0.17	0.45
نسبت افزایش طول دانه Elongation rate	4	3.84*	0.02	0.05

** و * به‌ترتیب بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و ns بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار بین دو تیمار مورد آزمون در سطح ۵ درصد

**: Significant difference (level 1%), *: Significant difference (level 5%) ns: No Significant difference (level 5%)

جدول ٤- مقایسه میانگین پارامترهای کیفی شلتوک خشک شده

Table 4- comparison of means of dried paddy milling factors

پارامتر **Variable**	میانگین در خشک‌کن ایستاده گردشی **Mean re-circulating dryer**	میانگین در خشک‌کن رایج **Mean conventional dryer**	میزان اختلاف **Difference**
راندمان تبدیل Milling yield	67.23	66.23	1
برنج خرده Broken rice	8.03	13.27	5.24
درجه سفیدی Whitening degree	58.60	60.03	1.43
نسبت افزایش طول دانه Elongation rate	1.78	1.89	0.11

نتایج تجزیه واریانس تبدیل شلتوک خشک شده (جدول ۳) نشان می‌دهد که کاربرد خشک‌کن ایستاده نسبت به خشک‌کن زمینی بر روی راندمان تبدیل برنج تاثیر معنی‌داری نداشت اما مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴) نشان داد که کاربرد خشک‌کن ایستاده موجب افزایش راندمان تبدیل به میزان حدود ۱ درصد شد. البته با توجه به سوابق تحقیقات گذشته و منابع علمی به‌نظر می‌رسد که تغییرات راندمان تبدیل شلتوک بیشتر تابعی از رقم و رطوبت دانه بوده و ارتباط مشخصی به نوع خشک‌کن نداشته باشد (Tajaddoditalab, 2013; Zamani and Alizadeh, 2009; Soleymani, 1998; Reid *et al.*,1997). با این وجود در این مقاله تاثیر اندک خشک‌کن‌های ایستاده بر بهبود راندمان تبدیل نیز ملاحظه شد. نتایج تجزیه واریانس تبدیل شلتوک خشک شده (جدول ۳) نشان می‌دهد که کاربرد خشک‌کن ایستاده نسبت به خشک‌کن زمینی تاثیر بسیار معنی‌داری بر روی تغییرات میزان خرده برنج حاصل از فرآیند تبدیل برنج داشت. مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴) نشان می‌دهد که در صورت استفاده از خشک‌کن ایستاده مقدار برنج خرده در فرآیند تبدیل حدود ۵ درصد کاهش پیدا می‌کند. این بهبود به‌دلیل تهویه مناسب هوا در فرآیند خشک کردن و یکنواختی دما در شلتوک می‌باشد. در حالی‌که در خشک‌کن‌های خوابیده تهویه نامناسب غیریکنواختی و بالا بودن دما در لایه‌های پایین موجب بند افتادن لایه‌های پایین شده و هنگام تبدیل، مقدار خرده برنج را افزایش می‌دهد. تحقیقات پیشین نشان می‌دهد که بیشترین خردشدگی شلتوک در فرآیند تبدیل مربوط به غیریکنواختی خشک شدن لایه‌های شلتوک در خشک‌کن‌های خوابیده می‌باشد که بعضاً در دماهای بالاتر ۶۰°C خردشدگی برنج بسیار افزایش می‌یابد (Kiyanmehr *et al.*, 2001; Fan *et al.*, 2000; Bakker Arkema *et al.*, 1983).

نتایج تجزیه واریانس تبدیل شلتوک خشک شده (جدول ۳) نشان می‌دهد که کاربرد خشک‌کن ایستاده نسبت به خشک‌کن زمینی رایج تاثیر بسیار معنی‌داری بر روی تغییرات درجه سفیدی برنج تبدیل شده داشت. مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴) نشان داد که درجه سفیدی برنج خشک شده در خشک‌کن خوابیده حدود ۲/۴ درصد نسبت به برنج خشک شده در خشک‌کن ایستاده بیشتر است. این بدان معنی است که رقم محلی طارم نسبت به شرایط خشک شدن و تغییرات رطوبت حساس می‌باشد. به‌نظر می‌رسد که علت سفیدی بیشتر برنج‌های خشک شده با خشک‌کن‌های رایج اقامت طولانی در خشک‌کن در مراحل پایانی فرآیند می‌باشد تا لایه‌های بالاتر هم به‌خوبی خشک شوند. لذا در صورت استفاده از خشک‌کن رایج، شلتوک خشک‌تری وارد سیستم تبدیل شده و میزان سفیدی برنج کمی بیشتر می‌شود. تغییرات درجه سفیدی برنج در محدوده تحقیقات پیشین بر روی خواص کیفی تبدیل ارقام داخلی شلتوک بوده و با آن هم‌خوانی دارد (Tajaddoditalab, 2013).

از نظر میزان ری کردن برنج پس از پخت، نتایج تجزیه واریانس تبدیل شلتوک خشک شده (جدول ۳) نشان می‌دهد که کاربرد خشک‌کن ایستاده نسبت به خشک‌کن زمینی تاثیر معنی‌داری در سطح ۵ درصد بر روی نسبت افزایش طول دانه بعد از پخت (ری کردن) داشت. مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴) نشان می‌دهد که نسبت افزایش طول برنج‌های خشک شده با خشک‌کن زمینی ۱/۸۹ بوده که نسبت به برنج‌های خشک شده با خشک‌کن ایستاده ۶/۲ درصد بیشتر بود. لذا از این حیث کاربرد خشک‌کن زمینی ارجحیت داشت. افزایش مدت اقامت شلتوک در خشک‌کن و اندک خشک‌شدگی بیشتر دانه که در حدود ۱ درصد بود، موجب جذب آب بیشتر دانه و افزایش بیشتر طول برنج پس از پخت شد. در تحقیق تجددی طلب بر روی نسبت افزایش طول دانه‌های برنج پس از پخت نتیجه‌گیری شد که عامل رقم و دمای خشک کردن بر روی این شاخص تاثیر معنی‌داری دارد و هرچه شلتوک بیشتر خشک شود و رطوبت آن به کمتر از ۱۰ درصد برسد این شاخص افزایش می‌یابد. همچنین نسبت افزایش طول در ارقام محلی بیشتر بوده و تاثیر فرآیند خشک شدن و تغییرات رطوبت دانه در آن بیشتر می‌باشد. محدوده تغییرات این شاخص در مقاله حاضر و تحقیقات قبلی با یکدیگر هم‌خوانی دارد (Tajaddoditalab, 2013; Habibi and YahyaZadeh, 2015).

نتیجه‌گیری

نتایج این مقاله نشان داد که انتخاب صحیح روش خشک کردن و دستگاه مورد استفاده در اصلاح مصرف انرژی، کاهش زمان و بهبود کیفیت تبدیل برنج مهم می‌باشد. خشک‌کن ایستاده گردش مجدد نسبت به خشک‌کن خوابیده به‌ترتیب۵۴/۱۲ درصد زمان خشک شدن و ۷۶/۲۵ درصد انرژی ویژه تبخیر آب شلتوک را کاهش داد. کاربرد خشک‌کن‌های ایستاده نسبت به خشک‌کن‌های زمینی تاثیر معنی‌داری بر راندمان تبدیل شلتوک نداشت امّا مقدار خرده برنج در فرآیند تبدیل را ۵ درصد کاهش داد. درجه سفیدی برنج خشک شده در خشک‌کن خوابیده ۲/۴ درصد نسبت به برنج خشک شده در خشک‌کن ایستاده بیشتر بود و از نظر میزان ری کردن برنج پس از پخت نیز، خشک کردن شلتوک با خشک‌کن‌های زمینی ۶/۲ درصد افزایش طول برنج پخته (ری کردن) را بیشتر کرد.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از پروژه تحقیقاتی خاص با شماره ۴- ۱۴- ۱۴-۹۴۱۳۶ بوده و با مشارکت موسسه تحقیقات برنج کشور (معاونت مازندران) انجام شده است.

References

1. Anonymous. 2001. Rice- Specification and test methods. National standard No. 127. Industrial research and standard of Iran. Karaj. (In Farsi).
2. Anonymous. 2003. Moisture measurement. Unground Grain and seed. ASAE standards, S352.2, FEB03, pp. 593.
3. Bakker Arkema, F. W., C. Fontana, and I. P. Schiscler. 1983. Comparison of rice dry systems. ASAE, Paper No. 83-3532.
4. Basunia, M. A., and T. Abe. 1998. Diffusion coefficients for predicting rough rice drying behavior from low to high temperatures. International Agricultural Engineering Journal 7 (3-4): 147-158.
5. Bhattacharya, K. R. 1980. Breakage of rice during milling. A Review, Trop. Sci. 22: 225.
6. Billiris, M. A. 2013. Measuring the energy required to dry rice in commercial rice dryers. Theses and Dissertations. University of Arkansas, Fayetteville.
7. Billiris M. A., T. J. Siebenmorgen, and G. L. Baltz. 2014 Energy used and efficiency of drying systems I. on-farm cross-flow dryer measurements. Applied Engineering in Agriculture 30 (2): 205-215.
8. Brooker, D. B., F. W. Baker Arkema, and C. W. Hall. 1992. Drying and storage of grains and oilseeds. AVI Book publisher, New York , U.S.A.
9. Fan, J., T. J. Siebenmorgen, and W. Yang. 2000. A study of head rice yield reduction of long and medium grain rice varieties in relation to various harvest and drying conditions. Trans. of the ASAE. 43 (6): 1709-1714.
10. Gazor, H. R. 2014. Investigation and comparison of losses and energy consumption in conventional and modern rice milling systems (Mazandaran Province report). Research report No. 45922. Agricultural engineering research institute. Karaj. (In Farsi).
11. Habibi, F., and A. YahyaZadeh. 2015. Evaluation of Amylose and Amylopectin Structure on Quality of Iranian Rice. Journal of Agricultural Engineering Research 16 (2): 61-70. (In Farsi).
12. Jittanit, W., N. Saeteaw, and A. Charoenchaisri. 2010. Industrial paddy drying and energy saving options. Journal of Stored Products Research 46: 209-213.
13. Kent, N. L. 1982. Technology of cereals an introduction for students of food science and agriculture. Third edition. P: 185.
14. Khostaghaza, M. H., M. Solymani, and M. Shahedi. 2002. Correlation of head rice yield (HRY) with rough rice fissuring and bending strength in drying process. Iranian. Journal of Agricultural Science 33 (1):115-121. (In Farsi).
15. Khoshtaghaza, M. H., M. Sadeghi, and R. Amirichayjan. 2007. Study of rough rice drying process in fixed and fluidized bed conditions. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 14 (2). (In Farsi).
16. Kiyanmehr, M., T. Tavakoli, and M. H. Khoshtaghaza. 2001. Effect of temperature and air velocity on drying time and paddy moisture content in batch type dryer. Journal of Agricultural Science 9 (1): 17-29. (In Farsi).
17. Kocsis L., I. Keppler, M. Herdovics, L. Fenyvesi, and I. Farkas. 2011. Investigation of moisture content fluctuation in mixed flow dryer. Agronomy Research Biosystem Engineering, Special Issue 1: 99-105.
18. Latifi, A. 2011. Effect of drying temperature and paddy final moisture on milling quality of three rice varieties. Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi) 102: 71-75. (In Farsi).
19. Mousavi, S. F., M. H. Abbaspour-Fard, M. Khojastehpour. 2015. The effect of fan speed control system on the inlet air temperature uniformity in a solar dryer. Journal of Agricultural Machinery 5 (2): 491-50. (In Farsi).
20. Omar, S. J., and R. Yamashita. 1987. Rice drying husking and milling. Part I: Drying. Agricultural mechanization in Asia- Africa and Latin America 18 (2): 43-46.
21. Peyman, M. H. 2003. Losses in rice milling (hulling and whitening). Training workshop. Agricultural Agriculture College of Gilan University, Rasht. (In Farsi).

22. Rafiee, Sh., and A. Tabatabifar. 2005. Effect of depth of batch-type dryer on rice losses during rough rice processing operation. Proceeding of the second national conference on losses of agricultural products, pages 483-491. (In Farsi).
23. Reid, J. D., T. J. Siebenmorgen, and J. Fan. 1997. The effects of variety, harvest location, harvest moisture content and drying air conditions on rough rice drying parameters. ASAE annual international meeting, Minneapolis, Minesota, USA, paper No: 976069.
24. Rumsey, T. R. and C. O. Rovedo. 2001. Two-dimensional simulation model for dynamic cross flow rice drying. Chemical Engineering and Processing 40: 355-362.
25. Sitompul, J. P., I. Stadi, and S. Sumardiono. 2003 Modeling and Simulation of Momentum, Heat, and Mass Transfer in a Deep-Bed Grain Dryer. Drying Technology 21: 217-229.
26. Soleymani, M. 1998. Effects of dryer parameters on rice quality parameters and breaking. Master of Science thesis in food science and industries. Tarbiat modaress University. 190 pages. (In Farsi).
27. Soponronnarit, S., and S. Chinsakoltanakorn. 1986. Energy consumption patterns in drying paddy by various drying strategies. In: Soponronnarit, S. (Ed.) Proceedings of a Regional Seminar on Alternative Energy Applications in Agriculture, 27-29 October 1986, Chiang Mai University, Thailand, p 14.
28. Tajaddoditalab, K. 2013. Effect of dryer temperature, final paddy moisture content and whitener on head rice and cooking quality of some Iranian rice varieties. Research report No. 44952. Rice research Institute of Iran. (In Farsi).
29. Teter, N. 1987. Paddy drying manual. FAO of the United Nations, Rome.
30. Wongpornchai, S., K. Dumri, S. Jongkaewwattana, and B. Siri. 2004. Effects of drying methods and storage time on the aroma and milling quality of rice (*Oryza sativa* L.) cv. KhaoDawk Mali 105. Food Chemistry 87 (3): 407-414.
31. Zamani, Gh. and M. R. Alizadeh. 2009. Introducing of Iranian rice. Malek Pub. Tehran. (In Farsi).

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 9, No. 2, Fall - Winter 2019, p. 365-374

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۹، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۸، ص ۳۷۴-۳۶۵

Comparison of the Paddy Drying Process and Milling Quality between Re-circulating and Conventional Batch Type Dryers

H. R. Gazor[1*]- A. Moumeni[2]

Received: 16-05-2018
Accepted: 23-07-2018

Introduction

High energy consumption and non-uniformity drying in conventional batch type dryer are the common problems in paddy dying industry. Non-uniformity drying causes to kernel breaking chance in the milling process. Using new dryers with better performance can solve the drying problem and energy saving. In this research, the operation of a re-circulating batch dryer was compared with a fixed bed batch dryer (conventional dryer) for paddy drying.

Materials and Methods

This research was done in a paddy milling factory in Ferydonkenar and deputy of Rice Research Institute of Iran, in Amol, Mazandaran province. Both re-circulating dryer and conventional batch type dryer were made by Khazar Electric Company in Amol- Iran and they had 5 tonnes capacity. In the re-circulating dryer, ambient air was warmed in the furnace and blown to drying zone inside of grain bin. Natural Gas (NG) was used for air warming in dryers. Warm air absorbed paddy moisture and pushed away from the dryer. Drying temperature ranges for re-circulating dryer and conventional dryer was 48-50 °C and 38-52°C, respectively. The paddy variety was one of the Iranian rice varieties as *Tarom* and initial moisture content of grains was 21% (w.b), it was decreased using drying to 8-9% (w.b) for milling process. Paddy moisture content was measured each 60-120 min by SUNCUE TD-6 portable *moisture tester*-Taiwan. Energy consumption calculated by fuel and electrical energy summation in each experiment. Natural Gas and electrical power consumption were measured by Gas and electric counters respectively.

Drying time, paddy moisture change trend and energy consumption were investigated for paddy drying in each dryers. Also, milling ratio, breaking percent, whitening degree, and elongation rate after cooking were studied after the milling process for rice dried using national standard methods and deputy of Rice Research Institute facilities in Amol. Experimental samples were 150 g and husker (SATAKE THU35B), a whitener (SATAKE TMU05) and KETT C-100 were used for husking, whitening and whiteness degree, respectively. All Experiments were done with three replication and data analyzed using T- student method in 5% probability.

Results and Discussion

Results showed that re-circulating dryer caused to reduce 54.12 percent in drying time and energy saving in paddy drying in compare with conventional paddy dryers. The trend of moisture content changes was longer and over-drying occurred in lower layers in conventional batch type dryer compared to re-circulating dryer. Paddy drying was 20 hours more in batch type than the re-circulating dryer. It caused wasting time and energy consumption. Specific energy consumption for water evaporating in the re-circulating batch dryer was 3.9 MJ/kg water and it was 76.25 percent less than fixed bed batch dryer. After the drying process in both dryers, paddy moisture content was in range 8-9 percent (% w.b). Using re-circulating dryer did not have a significant effect on milling yield but it had a significant effect on broken rice. Broken rice decreased by 5 percent after the milling process when paddy dried by re-circulating. Uniformity of layers drying and normal heat stress in rice kernels in re-circulating dryer reduced broken rice in the milling process. Whiteness degree of rice dried using fixed bed dryer was 2.4 percent more than the re-circulating batch dryer. Also, rice dried had more elongation rate about 6.2 percent after cooking when paddy dried by conventional dryer.

Conclusions

Results of this paper showed that using of re-circulating dryer would decrease time and modify energy consumption in paddy drying. The costs of installation for the re-circulating batch dryer was about 5.3 times

1- Associate Professor, Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
2- Associate Professor, Rice Research Institute of Iran, Mazandaran branch, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Amol, Iran
(*- Corresponding Author Email: hgazor@yahoo.com)

more than fixed bed batch dryer. It seems too expensive at first but considering energy and time-saving in the drying process and suitable effect on decreasing grain breakage in paddy milling, using of the re-circulating batch dryer is recommendable in rice milling factories.

Keywords: Drying, Energy, Paddy, Re-circulating dryer, Rice milling